CIELAB 색공간에서 균일한 분포를 갖는 색역사상 참조 테이블 생성 방법

오현수[†] · 이철희[††] · 곽한봉[†††] · 서봉우[††††] · 안석출[†††††]

요 약

장치간 색변환을 위한 색역사상은 영상의 현색을 향상시키거나 보존하기 위하여 장치사이에 색을 변환하기 위한 방법이다. 색역사상은 본질적으로 색변환 오차를 발생시키며, 이때 색변환 오차는 색역사상 방법, 원시 및 목적 장치, 그리고 색역 모델링을 위한 표본점에 의존한다. 모니터와 프린터사이의 색변환의 경우 각 장치에 대한 모델링을 위해 표본의 측정값에 기초한 경험적인 표기법을 많이 사용한다. 색표본은 CMY 혹은 RGB와 같은 장치 색공간에서 균일하게 분포된 색표본을 측정해서 사용한다. 그러나, 프린터 표본의 경우 이러한 표본들은 프린터 색역 내부에 균일하게 분포되지 않으므로 색변환 오차가 증가한다. 따라서 본 연구에서는 장치 독립적인 색공간인 CIELAB공간에서 균등하게 분포하는 색표본 생성법을 제안하고 3차원 보간법을 이용한 색변환 실험을 통해 제안된 색표본 생성 방법의 성능을 평가하였다.

Generation Method of Color Gamut Mapping Look-up Table Uniformly Selected in the CIELAB Color Space

H.S.Oh[†], C.H.Lee[††], H.B.Kawak[†††], B.W.Seo[††††] and S.C.Ahn[†††††]

ABSTRACT

Gamut mapping is a technique that acts on cross-media color reproduction to transform a color between devices for the purpose of enhancing the appearance or preserving the appearance of an image. Gamut mapping essentially produces color conversion error which depends on the gamut mapping method, source and destination devices, and sample points for gamut modeling. For color space conversion between monitor colors and printer colors, empirical representation using sample measurements is currently widely utilized. Color samples are uniformly selected in the device space such as CMY or RGB, represented as color patches, and then measured. However, in the case of printer, these color samples are not evenly distributed inside the printer gamut and the color conversion error is increased. Accordingly, this paper introduces a equally distributed color sampling method in CIELAB space, a device- independent color space, to reduce color conversion error, and the performance is analyzed via color space conversion experiments using three-dimensional interpolation.

1. 서 론

입/출력 장치의 모델링에 있어서 색 변환의 정확성은 사용되는 색표본(color sample)의 분포와 개수, 색변환 방법에 따라 크게 좌우된다. 그 중에서도 사용될 참조테이블(look-up table)의 색분포도는 출력색 예측에 커다란 영향을 미친다[1]. 3차원 보간법(three-dimensional interpolation)을 이용한 색변환의 경우 CIELAB 색공간의 분포에 따라 조그만 오차에도 프린터 구동신호인 CMY는 크게 달라지게 된다. 기존의 색표본화 방법은 프린터의 구동신호인 CMY를 기준으로 등 간격으로 색 표본을 선택하게

† (주) 한국씨포 기업부설 연구소 연구원
†† 정회원, 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사
††† 부경대학교 인쇄공학과 공학석사 재학중
†††† 부경대학교 인쇄공학과 공학박사 재학중
††††† 부경대학교 화상정보 공학부 교수

된다[1]. 이러한 방법으로 색을 표본화 할 경우는 프린터의 여러 가지 비 선형성 때문에 출력되는 색 영역은 전체적으로 어두운 색영역으로 치우치게되며 이것은 색변환시 상대적으로 밝은 부분에서 많은 오차를 발생시키게 된다.

따라서, 본 논문에서는 색변환에서 생길 수 있는 이러한 색변환 오차를 최소화하기 위해 장치독립적인 색공간(CIELAB)에서 비교적 균일한 색표본을 선택하는 방법을 제안하며, 가상의 CIELAB 표본점을 이용해서 보간을 수행한다. 제안된 방법의 성능 평가를 위해 기존의 색역사상(color gamut mapping) 방법에 이를 적용시켜 제안된 방법의 유용성과 타당성을 확인하였다.

2. 기존의 색역사상 참조 테이블 생성방법

이상적인 프린터 출력 기법은 출력 도트가 정사각형이고 중첩이 없다는 것을 가정하고 있으나, 실제 프린터의 도트는 정사각형 이라기 보다는 타원에 가깝고 모양도 일정하지 않아서 도트의 겹침이 발생된다. 그림 1은 CMY를 각각 9×9×9 단계 씩 해서 729개의 같은 간격 CMY 입력신호에 대한 측정된 CIE-LAB 출력값을 나타낸다. 그림에서 보여지는 것처럼 디지털 입력값이 같은 간격이라 하더라도 출력되는 색영역은 그림 1 (b)에서처럼 잉크젯 프린터의 기계적인 특성상 도트의 겹침으로 인해서 전체적으로 어두운 명도에 색표본이 집중되게 되며, 이것은 해상도가 증가할수록 이러한 현상은 커지게 된다. 따라서 CMY를 균일하게 표본화 하는 기존의 방법으로 색표본을 생성하면 그림 1 (b)(c)와 같이 불규칙한 CIELAB 표본점이 생성되고 결국 각 점들을 연결해서 삼각형 참조 테이블을 만들게 되면 삼각형 면적이 비균일한 색역사상 참조 테이블이 얻어지게 된다[1,3]. 이것은 색역사상시 구해지는 보간 웨이트에 많은 영향을 미치게 되고 CIELAB 삼각형 데이터의 작은 오차에도 보간되는 CMY는 많은 오차를 발생시키므로 어느 정도의 일정크기를 갖는 삼각형으로 구성되는 참조 테이블이 만들어지는 것이 필요하다.

3. CIELAB 색공간에서 균일한 색역사상 참조 테이블 생성

잉크젯 프린터의 경우 CMY의 균등 디지털 입력 구동신호에 대한 CIELAB 출력값의 분포도는 그림 1과 같이 어두운 명도 부분에 집중되는 현상이 발생되게 된다. 이것은 앞에서도 설명한 바와 같이 프린팅시 잉크 도트의 겹침 현상으로 인하여 낮은 명도 영역에서는 잉크 양의 선형적인 증가에 대한 색차 및 명도 신호의 변화가 매우 완만하므로 실제 측정 혹은 지되는 색차 및 명도의 변화 또한 매우 작음을 알 수 있다. 이러한 색표본을 이용해서 프린터 신호를 예측할 경우 색역 내부에서 영역에 따른 색차의 크기가 매우 불규칙하게 발생된다. 또한 시각적으로 민감한 중간 이상의 밝은 명도 영역에서 오차가 커지므로 지각되는 색차는 더욱 증가한다. 반면에 CIE-LAB 색공간에서 균일한 분포를 갖는 색표본의 경우 이러한 분포의 집중을 막을 수 있으므로 프린터 색역을 모델링 하기에 효과적이다[1].

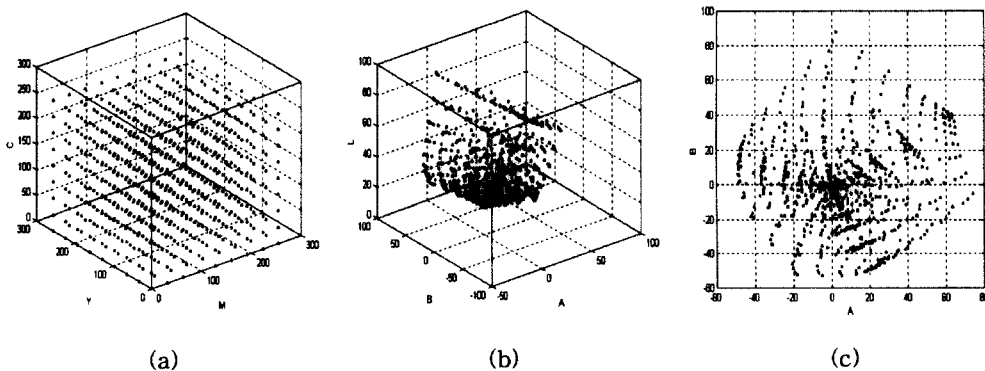



Fig. 1. Look-up table with uniform CMY sample points
(a) CMY signals (b) CIELAB color space (c) AB plane in the CIELAB

CIELAB 색공간에서 균일한 분포를 갖는 참조 테이블을 만들기 위해서는 프린터가 표현 가능한 색영역을 먼저 알아야 한다. 먼저 동일한 디지털 값을 프린터에 보내서 출력된 색을 측정함으로서 프린터의 전체 적인 체적을 구할 수 있다. 그런 다음 전체 체적에 대해서 가상의 색표본을 균일하게 할당한 후, 색표본을 찍을 수 있는 프린터 신호를 역으로 추정한 후, 이 프린터 신호로서 다시 프린팅 한 후 색표본을 측정함으로서 CIELAB 색공간에서 균일한 색표본 생성이 가능하다.

3.1 가상의 CIELAB 색표본 생성

초기 CIELAB 색공간에서 균일한 표본점을 얻기 위하여 CMY를 기준으로 동일한 디지털 입력값으로 프린터의 전체적인 색역을 구한다. 프린터의 색역 체적에 대하여 먼저 휘도축을 3차원 좌표상의 유클리드 거리가 7.0922 되도록 가상의 CIELAB 색표본을 할당한다. 이 7.0922란 거리는 프린터의 체적에 대해서 대략 729개의 샘플로 할당하기 위해 임의로 잡은 거리이다. 각 휘도평면에서 휘도축과 최대 채도값 사이의 거리가 휘도축과 같은 거리가 유지되도록 가상의 CIELAB 표본점 729개를 구성하며 3차원 분포도는 그림 2와 같다.

(a) (b)

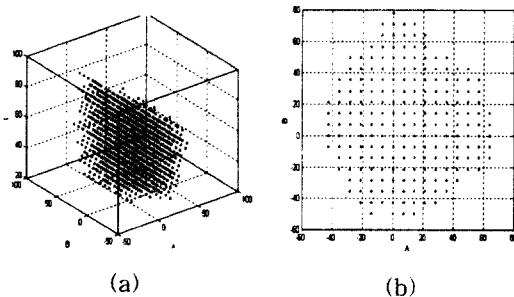



Fig. 2. Fictive CIELAB sample points
(a) CIELAB color sapce (b) AB plane in the CIELAB

3.2 가상의 CIELAB 색표본에 대한 프린터 구동 신호 예측

CIELAB 색공간에서 선택된 729개의 CIELAB 색표본으로 측정된 CIELAB값을 얻기 위해서는 이 색표본에 대응하는 CMY를 역으로 구해야한다.

본 연구에서는 CIELAB 값에 대응하는 CMY를 얻기 위해 균일한 CMY값으로 만들어진 729개의 색표본을 이용해서 3차원 보간법[2][3]으로 CIELAB 입력에 대한 대응되는 CMY를 구한다. 그림 3은 구해진 CMY 및 이에 대응되는 측정된 CIELAB의 색 분포도를 보여준다.

여기서 측정된 CIELAB값은 가상의 표본점들과는 완전히 일치하지는 않지만 비교적 균일한 분포를 가진다. CMY예측에 있어서 색표본의 수를 늘여서 좀 더 정확한 색이 예측된다면 가상의 CIELAB 표본점과 더욱 가까운 데이터를 얻을 수 있다.

4. 가상의 CIELAB 색표본을 이용한 보간법

RGB에서 CIELAB로의 보간을 순방향 보간(Forward interpolation)이라 하고, CIELAB에서 CMY로의 보간을 역방향 보간(inverse interpolation)이라고

(a) (b) (c)

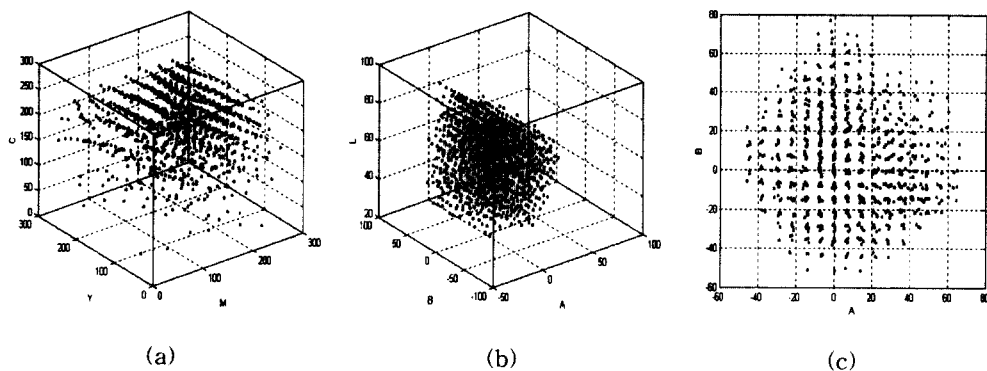



Fig. 3. Look-up table with fictive CIELAB sample points
(a) CMY space (b) CIELAB color space (c) AB plane in the CIELAB

한다.

그림 4는 Po-Chieh Hung이 인용한 방법으로 하나의 육면체를 6개의 사면체로 분할한 것이며, RGB 색공간에서 하나의 사면체의 상태를 나타내는 그림이다. 순방향 보간시에는 그림 4에서와 같이 RGB 색공간 에서는 R,G,B의 크기만으로 육면체 및 사면체를 구분할 수 있다.

(a) (b)

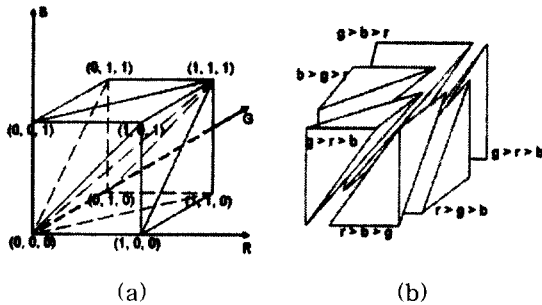



Fig. 4. Tetrahedral division of a subcube
(a) the location of tetrahedons in a subcube
(b) tetrahedron conditions

그러나 역방향 보간시에는 측정된 CIELAB 색표본은 비 균일한 분포를 가지게 되므로 CIELAB의 크기만으로 포함되는 육면체나 사면체를 찾는 것은 불가능하다. 따라서 역방향 보간시 보간하고자 하는 색을 포함하는 육면체나 사면체를 찾기 위한 방법이 필요하다[2,3]. 기존의 보간 방법은 CMY의 크기로서 육면체나 사면체 참조 테이블을 작성하고 이에 대응되는 CIELAB 육면체 및 사면체 참조 테이블을 구성한다. 그러나 CIELAB의 값이 균일한 값을 가지고 있다면 CIELAB의 크기만으로 포함하는 육면체를 찾는 것이 가능하다. 따라서, 본 연구에서는 CIELAB 값이 균일한 거리를 갖는 가상의 CIELAB 표본점을 이용해서 포함하는 육면체를 찾고 측정된 표본점과 대응시킨다. 이렇게 될 경우 CIELAB 색공간의 색분포도가 균일하지 않은 기존의 방법과 비교해서 포함하는 육면체를 찾기 위한 수행시간의 단축을 가져올 뿐 아니라 입력값이 출력 색역에 포함되는지 여부가 쉽게 가려지게 되며 역변환을 수월하게 수행할 수 있게 한다. 그러나 가상의 표본점과 측정된 표본점과는 완전히 일치하지는 않는다. 따라서 그림 5와 같이 가상의 육면체에서 먼저 포함하는 육면체를 찾고 측정된 표본점에서 다시 한번 포함여부를 가리며, 만약

(a) (b)

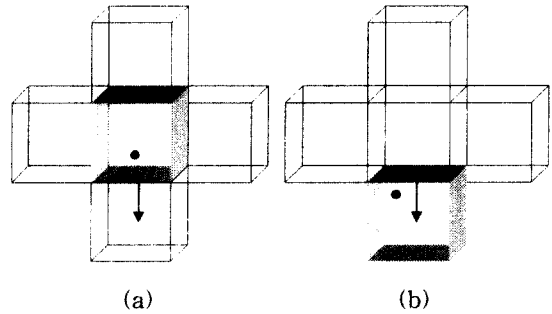



Fig. 5. Corresponding measured cube corresponding to fictive cube in the CIELAB
(a) Fictive cube table (b) Corresponding measured cube table

포함되어 있지 않다면 입력값과 육면체의 각 면과의 거리의 합을 구해 가장 작은 거리의 합을 가지는 면을 공유하는 육면체로 이동시키면서 순차적으로 포함여부를 가린 후 보간을 한다.

5. 색역사상

CRT 모니터와 같은 색역이 넓은 장치에서 프린터로 출력을 하게 되면 프린터가 표현할 수 없는 색이 존재하게 된다. 이것은 입출력 장치의 특성상 필연적이다. 실험에 사용된 삼성Syncmaster 700p 모니터와 Epson stylus photo프린터(3색 360dpi)의 색역의 전체적인 체적을 비교하면 그림 6에서와 같이 프린터의 체적이 모니터의 약 30%에 불과하다. 따라서 70%정도의 표현할 수 없는 색에 대해서는 프린터가 표현할 수 있는 색으로 변환시키는 색역사상이 필요하게 된다. 여기서 경계면을 이루는 각 삼각형의 크기와 수는 색역사상에 많은 영향을 미친다. 기존의 방법으로 경계 삼각형을 만들 경우 어두운 명도 부분

(a) (b)

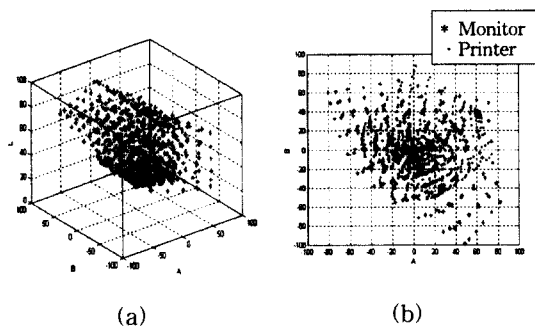



Fig. 6. Color distribution of monitor in the CIELAB
(a) CIELAB color space (b) CIELAB AB plane

에 있어서는 삼각형의 크기가 너무 작고 상대적으로 밝은 부분은 삼각형의 크기가 너무 커지게 된다. 따라서 보간시에 사면체라든지 삼각형의 크기는 비균일한 크기를 가지고 있기 때문에 색변환시에 많은 오차가 생길 수 있다. 그러나 제안된 방법은 어느 정도 일정한 크기를 유지 하기 때문에 출력되는 보간 웨이트도 안정적으로 나올 수 있다.

색역사상 방법과 방향에 있어서는 입출력 장치 및 이미지의 내용에 따라 적당한 방법이 선택되어져야 한다[7]. 본 연구에서는 기존에 연구된 여러 가지 방법보다 그림 7에서 처럼 출력장치의 각 색상각도(hue angle)에 대한 최대 색도점(chroma point)을 닻점으로 설정하는 CUSP방법이 결과면에서 더 우수한 것으로 알려져 있다[5-8]. 따라서, 본 연구에서는 CUSP방법으로 색역사상을 수행한다.

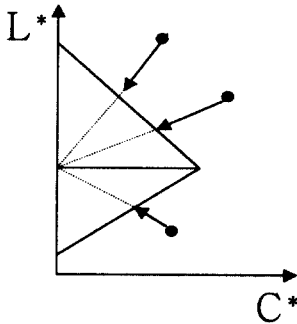



Fig. 7. color gamut mapping using cusp algorithm

6. 실험 및 결과

제안된 방법의 성능평가를 위해서 동일한 조건을 갖는 기존 및 제안된 방법으로 색표본으로 구성하고 이를 이용하여 3차원 보간법을 이용해서 테스트한다. 테스트에 사용될 샘플은 Fuji color target IT8.7/1과 Macbeth ColorChecker를 이용해서 테스트 한다. Fuji color target의 경우 264개 중 84개가 프린터 색영역 외부에 존재하고, Macbeth ColorChecker는 7개의 색이 프린터 색영역 외부에 존재한다. 테스트 샘플의 색분포도는 그림 8과 그림 9에나타내었다. 색표본을 출력하기 위해 사용된 프린터는 Epson Photo Stylus이고, Blue noise mask[4]을 사용해서 하프토닝한 후 PCL(Printer control language)을 이용해서 360dpi 해상력으로 출력한 후 측색기 (TECHKON

(a) (b)

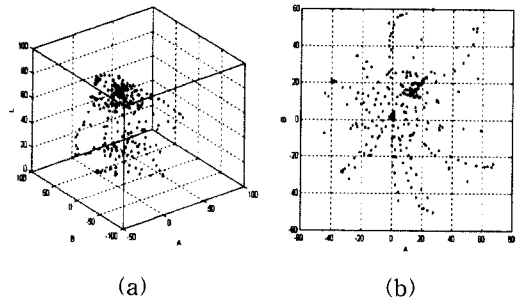



Fig. 8. Color distribution of Fuji color target in the CIELAB
(a) CIELAB color space (b) AB plane in the CIELAB

(a) (b)

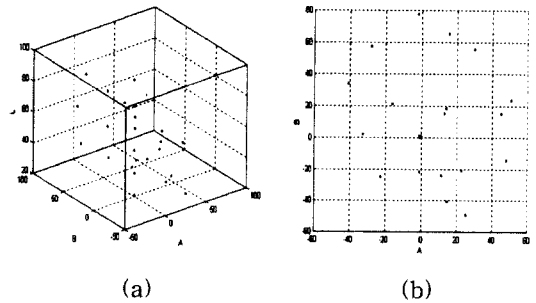



Fig. 9. Color distribution of Mecbeth ColorChecker in the CIELAB
(a) CIELAB color space (b) AB plane in the CIELAB

SP820λ)로 D65, 2도시야의 관측조건으로 측정한다.

표 1과 그림 10은 테스트 원고와 재현된 샘플 간의 평균 및 최대, 최소 색차를 나타내며, 이에 사용된 색차공식(color difference formula)은 식 (1)과 같다.

$$\Delta E_{ab}=\sqrt{(\Delta L)^2+(\Delta a)^2+(\Delta b)^2} \quad (1)$$

결과에서 제안된 방법은 색변환에 있어서 지각적으로 민감한 그레이 벨런스(gray balance)라든지 중요한 특정색인 피부색(skin color) 및 컬러 램프에 있어서 모두 기존의 방법과 비교해서 평균색차와 최대색차가 감소되는 것을 알 수 있다. 색역사상이 이루어진 부분에 있어서는 색차의 크고 작음은 그리 중요하지 않다. 시각적으로 더 나은 결과를 얻는 것이 필요하다. 그러나 색차라는 것은 인간의 눈과의 상관관계가 거의 같다는 결과[9]가 있으므로 객관적인 색차의 비교를 통해서 제안된 방법은 기존의 방법보다 더 나은 결과를 제공한다고 볼 수 있겠다.

Table 1. Color difference comparison with Fuji color target () represents the maximum color difference

Test Color	Average color difference for conventional method	Average color difference for proposed method
Skin Colors	2.96 (3.77)	1.74 (3.82)
Gray Ramps	4.04 (13.52)	2.95 (9.23)
Primary Color Ramps	5.31 (44.03)	3.96 (21.25)
Entire Color Difference	4.44 (44.03)	3.21 (21.25)

Table 2. Color difference comparison with Macbeth ColorChecker () represents the maximum color difference

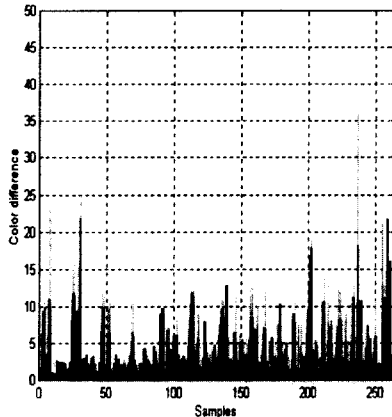
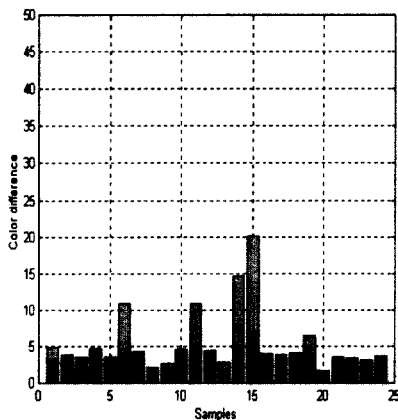
Test Color	Average color difference for conventional method	Average color difference for proposed method
24 colors	4.51(20.14)	2.84 (5.33)

(a)

(b)

Fig. 10. Color difference comparison (a) Fuji color target (b) Macbeth ColorChecker

7. 결 론

프린터 모델링을 위한 색표본 선택에서 표본의 크기 및 분포는 색공간의 변환시 성능을 좌우하게 된다.

따라서, 본 논문에서는 색표본 생성시 장치의 색역을 잘 표현하면서 색변환시 발생되는 오차를 최소화하는 색보정용 색표본 생성 방법과, 3차원 가상의 CIELAB 표본점을 이용한 보간법을 제안 했다. 결과에 있어서 CIELAB 색공간에서 색 샘플들의 좌표가 비 균일한 기존의 방법과 비교적 균일한 영역이 얻어지는 제안된 방법과 성능을 비교해본 결과 제안된 방법은 동일한 조건으로 평균 및 최대 색차를 감소 시켰다. 기존의 방법은 색역의 비균일함 때문에 생기는 색변환 오차에서 제안된 방법에 비해 많은 색차를 수반한다. 이러한 이유는 제안된 방법은 색표본의 분포가 어느 정도의 일정한 거리를 가지기 때문이다. 3차원 보간시에도 사면체 크기가 어느 정도의 일정한 크기를 가지기 때문에 비균일한 크기를 갖는 기존의 방법과 비교하면 보간시 생기는 오차가 많이 줄어들게 된다. 그리고 가상의 CIELAB 표본점을 이용함으로써 역변환시 생기는 계산적인 시간을 줄이게 되고 역변환의 수월성의 제공한다. 제안된 색표본 생성 방법은 여러 가지 비선형적인 출력특성을 갖는 장치의 모델링 및 색보정에 널리 사용될 수 있을 것으로 본다.

참 고 문 헌

[1] Henry R. Kang, Color Technology for Electronic Imaging Devices, SPIE Optical Engineer-

ing Press, 1997.

[2] P.C. Hung, "Colorimetric calibration in electronic imaging devices using a look-up-table model and interpolation," Journal of Electronic Imaging, Vol. 2(1), pp. 53-61, Jan. 1993.

[3] Jon Yngve Hardeberg and Francis Schmitt "Color Printer Characterization Using a Computational Geometry Approach" The Fifth Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Application, pp. 96-99, Nov. 1997

[4] T. Mitsa and K. J. Parker, "Digital halftoning technique using a blue-noise mask", J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 9, No. 11, pp. 1920-1929, Nov. 1992.

[5] J. Morovic and M.R. Luo, "Cross-Media Psychophysical Evaluation of Gamut Mapping Algorithms" Proc. AIC color 97 Kyoto, 1997.

[6] A. Johnson, M. R. Ruo, M. C. Lo, J. H. Xin and P. A. Rhodes, Aspects of Colour Management, Part 2 Characterisation of Four-Colour Imaging Devices and Colour Gamut Compression, Color Research and Application vol. 22, 1997.

[7] Naoya Katoch, ITO and Shin "Three-dimensional gamut mapping using various color difference formulae and color spaces" Journal of Electronic Imaging, vol. 8(4), pp. 365-379, October 1999.

[8] J. Morovic, http://ziggy.derby.ac.uk/~jan/gamut_mapping.html.

[9] Jong-Pil Kim, Eul-Hwan Lee, Suk-Chul Ahn, "Development of CIELa*b*-CMYK color conversion system by Neural Network," Journal of the Korean Printing Society, Vol. 16, 4.

오 현 수

1997年 부경대학교 인쇄공학과 (공학사)
2001年 부경대학교 인쇄공학과 (공학석사)
2001年~현재 (주) 한국씨포 기업부설 연구소 연구원
관심분야 : Large Format Printer 제어 및 색보정, 색역사상

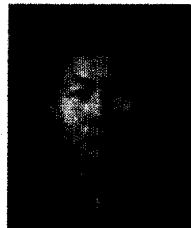
이 철 희

1995年 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1997年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사).
2000年 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2000年~현재 경운대학교 컴퓨터공학과 전임강사
관심분야 : 칼라영상처리, 컴퓨터 비젼, 입출력 장치 색보정, 헤드램프 실사 영상재현

곽 한 봉

1999年 부경대학교 인쇄공학과 (공학사)
2000年~현재 부경대학교 인쇄공학과 공학석사 재학중
관심분야 : Color Image Processing, Color Appearance

서 봉 우

1996年 부경대학교 인쇄공학과 (공학사)
1999年 부경대학교 인쇄공학과 (공학석사)
2001年~현재 부경대학교 인쇄공학과 공학박사 재학중
관심분야 : Color Reproduction, Color Management, Digital Halftoning

안 석 출

1976年 동아대학교 전자공학과 (공학사)
1978年 동아대학교 전자공학과 (공학석사)
1980년 (주)금성 ALPS
1987年 동아대학교 전자공학과 (공학박사)
1983年 미국 N.C.S.U Visitting Scholar
1996年 일본 지바대학교 객원교수
1980~2001년 현재 부경대학교 화상정보 공학부 교수
관심분야 : Color Reproduction, Color Management, Digital Halftoning, DTP Color Appearance